



Instrumentación GPS de pruebas de carga en el Nuevo Puente de Ventas sobre la M-30 de Madrid

Juan F. Prieto Morín⁽¹⁾, Antonio M. Luján Díaz⁽²⁾ y Antonio Martínez Cutillas

⁽¹⁾ jfprieto@mfom.es

⁽²⁾ amlujan@mfom.es

Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

Se muestra en este artículo el trabajo realizado durante las pruebas de carga de puesta en servicio del Nuevo Puente de Ventas sobre la M-30 de Madrid, con el fin de determinar los desplazamientos producidos mediante la aplicación de técnicas GPS, así como la discusión de precisiones obtenidas y posibilidades que encierra este tipo de sistemas en la instrumentación de deformaciones en obra civil.

1. INTRODUCCION.

Ante el avance que han tenido las técnicas de observación y medición con GPS tanto en topografía como en geodesia durante la última década se pensó en evaluar este tipo de técnicas en una aplicación típica de análisis de deformaciones en obra civil como puede ser la observación de flechas y desplazamientos durante una prueba de carga de la estructura de un puente.

Se perseguían varios objetivos en este tipo prueba:

- El principal objetivo era el de comprobar antes de la puesta en servicio que las estructuras construidas responden de acuerdo a como se proyectaron, sentando bases para posteriores pruebas de carga con vistas a analizar la evolución futura de las estructuras en la subsiguiente fase de explotación.
- Analizar la posibilidad de la utilización de las técnicas de observación GPS al control de movimientos en estructuras, comprobando su alcance y precisión y la posibilidad de abrir, con estas técnicas, un nuevo camino para la instrumentación continua de las estructuras de obra civil
- Aspectos que se considerarán
- Medición continua de los desplazamientos que se presenten según se vaya modificando el tren de cargas, con redundancia suficiente como para poder realizar los estudios estadísticos que ofrezcan idea de la precisión alcanzada
- Aunque la finalidad principal de este proyecto es analizar los desplazamientos en sentido vertical, se plantea la posibilidad de determinar los desplazamientos relativos en cualquiera de sus componentes espaciales.

El objetivo principal de toda prueba de carga es comprobar la capacidad de la estructura para resistir adecuadamente las cargas de explotación, antes de su puesta en servicio, o bien, estimar si la obra sigue manteniendo la capacidad portante necesaria para soportar adecuadamente las cargas de explotación, en el caso de que la obra ya esté en servicio.

En las nuevas Recomendaciones para Pruebas de Carga, el Ministerio de Fomento recomienda que la toma de datos se realice de forma automática y continua en las pruebas de carga en el caso de puentes con luces superiores a 60m, cual es el caso de los tableros del Nuevo Puente de Ventas, estructura elegida para el test objeto de este trabajo.

La utilización de flexímetros y transductores de movimiento obligan a detener el tráfico inferior o a montar andamiajes, además, es prácticamente imposible su aplicación en puentes sobre caudales de agua elevados. Si la estructura tiene gran altura, exige longitudes de hilos mayores que pueden ser influidos por las condiciones atmosféricas.

Los niveles de precisión, aún siendo los aparatos más precisos, obligan a observar unas distancias máximas de nivelación. El uso en estructuras curvas obliga a reducir la distancia de nivelación, aumentando el número de tramos intermedios, con el fin de garantizar la intervisibilidad. Con el empleo de aparatos láser, en grandes distancias aparecen los problemas de modificación de curvatura, e incluso el falseamiento del índice de refacción por observaciones rasantes sobre extensas superficies de agua.

El uso de la tecnología GPS ofrece varias ventajas en este tipo de observaciones:

- Ofrece la posibilidad de establecer un sistema de instrumentación continua de los desplazamientos producidos de forma automática, continua y sencilla. Esta automatización puede llegar a ser total con la transmisión de los datos registrados a una oficina de control, que en tiempo real calcule y analice la evolución de la estructura.
- Ofrece también la posibilidad de que los puntos de control interno no estén visualmente unidos a los puntos fijos de control externo, permitiendo aumentar las distancias entre ambas familias de puntos sin que ello haga reducir la precisión en las medidas.
- El GPS conlleva el uso de un Sistema de Referencia absoluto exterior e independiente al de la propia obra. Además, la localización y estacionamiento de los puntos de control de la estructura es independiente y versátil, al no estar sometidos y limitados estos a la condición típica de intervisibilidad entre sí o con los puntos de referencia externa.
- Por otro lado estos sensores GPS pueden operar en amplio margen de condiciones atmosféricas sin apenas influencia sobre las observaciones, además, son dispositivos más baratos que los mecánicos y ópticos por su propia naturaleza electrónica y no están influenciados por derivas.

También lleva inconvenientes:

- Resolución menor que con equipos clásicos que se podría fijar para observaciones muy cuidadas en el entorno de los 2-3 mm para desplazamientos horizontales, y entre 5-6 mm en desplazamientos verticales.
- El horizonte de los puntos de control debe de estar despejado de obstáculos que falseen las observaciones con efectos *multipath* o multitrayectoria.
- Existen influencias sobre las observaciones en periodos de tormentas de aparato eléctrico y periodos de máximos de actividad solar.

Existen varios antecedentes en el extranjero de análisis de deformaciones en estructuras con GPS, destacando las pruebas efectuadas en el Puente Luling, sobre el Mississippi en New Orleans, el Puente Blackwater, en Pensacola Florida o el Puente Storebaelt, en Dinamarca.

El Nuevo Puente de Ventas se puso en servicio en dos etapas, y por tanto las pruebas de carga se desdoblaron en dos coincidiendo con la puesta en servicio de cada etapa. El proyecto de instrumentación GPS de las pruebas de carga se realizó en mayo y septiembre de 1998. Cada una de las dos etapas del proyecto siguió el mismo procedimiento que se resume en tres fases:

- Determinación de las deformaciones esperables en las estructuras y definición de su nivel de carga
- Señalización de los puntos de apoyo y control e instrumentación GPS de las pruebas de carga
- Determinación experimental de los desplazamientos observados con GPS y análisis de resultados

2. DETERMINACIÓN DE DEFORMACIONES ESPERABLES

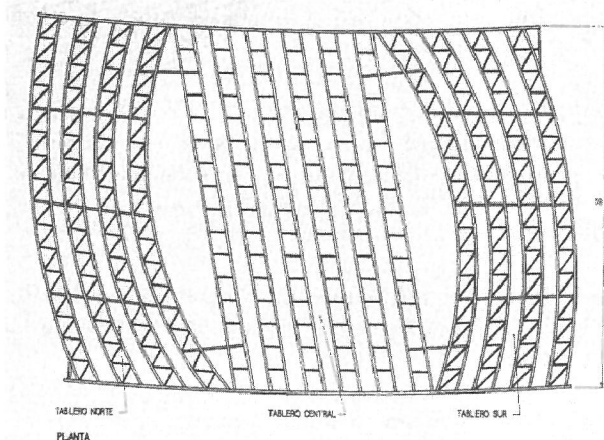
Con el fin de identificar los desplazamientos esperados en las estructuras y su localización espacial a lo largo de la misma para su contrastación en la posterior prueba, se realizó un supuesto teórico de deformaciones de las estructuras con un patrón de carga tipo.

La estructura principal sitúa sobre la autopista de circunvalación a Madrid M-30, a su paso bajo la calle de Alcalá, y se trata de un tablero que forma una glorieta apoyado sobre dos muros estribos paralelos a la citada autopista. El tablero total se descompone en dos tableros laterales, Norte y Sur, y un tablero central. Los primeros tienen una anchura que varía en 18,5 m y 19,5 m y un radio en planta, variable según las vigas, entre 61,6 m y 98,3 m. están

soportados por cuatro vigas cajón, una de borde y tres centrales de 2,00 m de canto y 2,88 m de anchura. Sobre ellas se dispone una losa de hormigón de 28 cm de espesor soportada durante la construcción por una chapa. El tramo central tiene una anchura de 31,2 m y está soportado por seis vigas oblicuas similares a las de los tramos curvos. Sobre ellas se dispone también una losa de hormigón de 28 cm de espesor. Todas las vigas quedan simplemente apoyadas en los estribos con una luz total de 59 metros. Estos detalles se pueden comprobar en las figuras adjuntas.

En la primera etapa se construyeron los tableros laterales, es decir, las estructuras 1 y 3, discurriendo el tráfico mientras tanto por el puente antiguo existente. Una vez construidos y puestos en servicio, en la segunda etapa, se demolió el puente antiguo, en aquel momento existente, y se construyó el tablero central, estructura 2, mientras el tráfico de la calle de Alcalá discurría por los tableros laterales anteriormente puestos en servicio. Las dos pruebas de carga efectuadas se corresponden, como ya se ha comentado, con las dos etapas de puesta en servicio.

Siguiendo las Recomendaciones del Ministerio de Fomento para este tipo de pruebas, se propuso un tren de cargas en cada uno de los tableros comprendido entre el 60% y el 70% de las solicitaciones máximas que marca la Instrucción de Puentes, que quedó materializado por doce camiones, colocados por filas en cada tablero, con una tara entre 30 y 36 Tm, según el tablero. Para calcular los desplazamientos en las estructuras se modelizaron las estructuras a través de un modelo de barras formado por un emparrillado plano. A cada barra se le dieron las propiedades de la parte del puente que reproduce. Una vez definido así el modelo se introducen los datos correspondientes a la definición del modelo de barras y las cargas correspondientes en un programa de cálculo matricial de barras.



Figuras 1 y 2.- Nuevo Puente de Ventas, planta de sus estructuras

El programa aporta como resultado del cálculo los esfuerzos y los desplazamientos de todos los nodos en los que está dividido el modelo de la estructura, así como las reacciones en los apoyos. Estos desplazamientos estimados para los nodos son los que servirán posteriormente para comparar con los obtenidos en los nodos donde colocarían los puntos de control. Se escogieron los nodos con la flecha de mayor deformación, por supuesto en los centros de vanos, y dos nodos equidistantes a los extremos de las estructuras desde los centros de vanos. La flecha esperable de mayor valor absoluto resultó ser de 54 milímetros.

3. INSTRUMENTACIÓN Y SEÑALIZACIÓN

Siguiendo las consideraciones de las ya referidas Recomendaciones, éstas consideran aceptable que los aparatos de medida que se empleen en la medición de los desplazamientos de las estructuras deberán garantizar una apreciación mínima del orden de un 5% de los valores máximos esperados de las magnitudes que se vayan a medir. Como se había obtenido una estimación de la magnitud de desplazamientos en función de la carga a que se iba a someter las estructuras de 54 mm, habría que utilizar unos aparatos y unos métodos de trabajo con ellos que garanticen una apreciación mínima del orden de 3 mm.

De los diferentes tipos de metodologías de trabajo con GPS en función de una aplicación, como era ésta, del tipo de levantamiento de control, se escogió el método estático, por ser éste el que podía ofrecer una precisión más cercana a la apreciación mínima exigida. Este método estático nos ofrece unos 5 mm en contraposición a los 3 mm que se exigía, pero el objetivo de comprobar realmente si con GPS se podría efectuar este tipo de mediciones nos animó a seguir adelante con el proyecto, máxime si tenemos en cuenta que una diferencia de 2 mm en la determinación no tiene apenas significación cuando se compara con la magnitud a medir de 54 mm.

La instrumentación consistió en la instalación de equipos de receptores GPS juntamente con sus antenas de recepción en los puntos de control de la estructura, así como en los puntos de apoyo exteriores a las estructuras. Se emplearon receptores bifrecuencia para el enlace con la red de referencia y monofrecuencia para la observación de los puntos de control. Las antenas utilizadas fueron con plano de tierra para evitar multitrayectorias en los receptores de dos frecuencias. Las correcciones de ambigüedad del centro de fase vienen especificadas en un archivo aparte utilizado por el programa de cálculo.

Los receptores GPS se calibraron mediante el test de vector nulo que consiste, en esencia, en conectar dos receptores a una misma antena común. Los datos recogidos en los dos receptores deberían ser idénticos. En la práctica real no serán iguales, pues cada receptor tiene un ruido interno propio que lleva a un retardo distinto en la recepción de los datos observados por la antena común. El paso siguiente es la determinación en forma de distancia de este retardo, el cual se efectuará por postproceso calculando el vector observado. Este vector que debería de ser, lógicamente, próximo al valor 0 -nulo-, arrojó diferencias que oscilaron entre 1 y 5 mm.

Con las antenas se procedió a efectuar una calibración estática y una dinámica. Con la calibración estática, que afecta a planimetría, se determinaron las componentes en sentido norte-sur y este-oeste de los desplazamientos de los centros de fase con respecto a los ejes de estacionamiento. La antena que se pretende calibrar se orienta al norte para efectuar la observación. Se almacenan los datos en su receptor en una observación en paralelo con otra antena y receptor. Se repite la observación, esta vez girando 180° la antena que se está calibrando manteniendo la otra antena de referencia fija. Se almacenan los datos producto de esta segunda observación en la cual los desplazamientos tendrán iguales magnitudes pero sentidos inversos que los obtenidos en la primera. Los valores de estos desplazamientos obtenidos en el postproceso de los vectores fueron todos inferiores al milímetro.

La calibración dinámica, que afecta a altimetría, es consecuencia de la variación en sentido vertical del centro de fase de la antena en función de la altura que tiene el satélite observado en cada momento. Como se observan varios satélites a la vez quiere esto decir que para cada satélite el centro de fase tiene una altura distinta. Este error también es sistemático, y se elimina utilizando siempre el mismo tipo de antena. Como íbamos a utilizar varios tipos de antena, se realizó esta calibración colocando dos antenas en dos puntos de un banco de calibración de coordenadas perfectamente conocidas y recogiendo los datos que se observan en cada uno de los dos receptores conectados a cada antena. La determinación se realizó calculando las dobles diferencias a cada satélite y agrupando los residuos en función de la altura del satélite, determinándose la curva que mejor se ajuste a la distribución de estos residuos.

El sistema de señalización, para los puntos de estación de las antenas, que se utilizó debía ser permanente, garantizar su repetibilidad de estacionamiento con precisión menor de 1 mm en altitud y, además, de integrarse dentro de la problemática de los diferentes movimientos y maniobras del tren de cargas dentro de la superficie de la estructura, no permitiendo que la presencia y las maniobras del tren de cargas interrumpen o afecten a los datos recibidos por las antenas. A tal fin se proyectó un tipo de señal fija consistente en un disco de PVC, de 50 mm de diámetro y unos 7 mm de espesor, que iría recibido al suelo o superficie de la estructura mediante resina epoxi, que quedaría prácticamente a nivel de la superficie protegido del paso de peatones y automóviles. El disco permitirá la utilización de un sistema de autocentrado o la posibilidad futura de poder asentar sobre él una mira de nivelación.

Las antenas se montaron atornilladas en su base sobre una colección de mástiles modulares de 609 mm de altura cada uno, en número suficiente como para que las antenas no estuvieran obstaculizadas por los laterales de los camiones que podrían hacer llegar señales rebotadas sobre las mismas. En la base de los mástiles se han atornillaron unas piezas de autocentrado calibradas que permiten que el sistema mástil-antena quede centrado sobre el disco de señalización con la tolerancia que obligaba el pliego de prescripciones técnicas. El sistema de centrado se muestra en la figura 3.

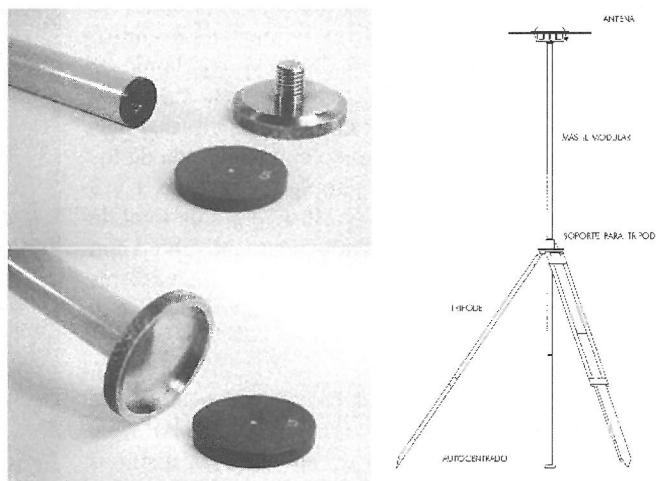


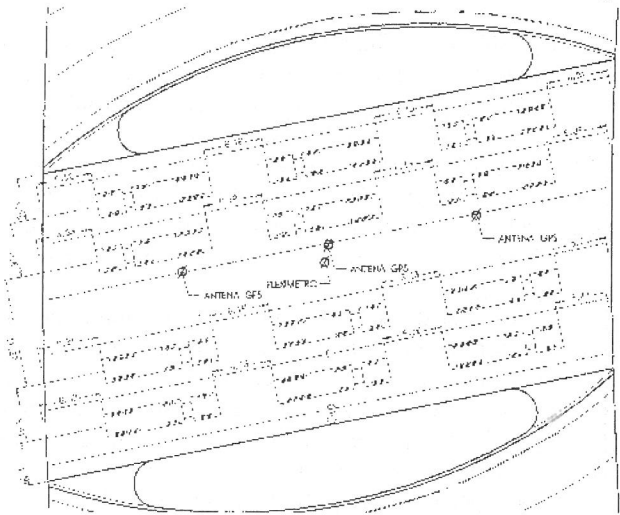
Figura 3.- Sistema de autocentrado de antenas

4. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS DESPLAZAMIENTOS

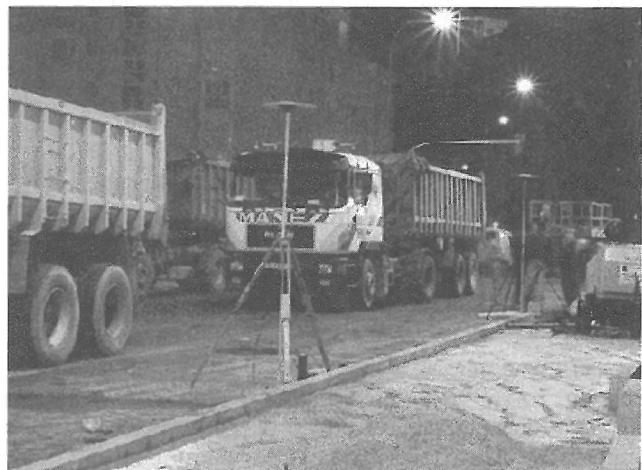
Para la realización de las observaciones se ejecutaron tres redes in situ: La primera de ellas, denominada Red de Puntos de Control, está formada por diez puntos localizados sobre los nodos del modelo de barras de las estructuras donde se espera una flecha máxima y que se eligieron en una fase anterior del proyecto. Están localizados en los centros de vanos y puntos intermedios, y están elegidos de manera que no interrumpan los movimientos del tren de cargas y estén libres de obstáculos en su horizonte. En todos ellos se ha dispuesto el dispositivo de autocentrado descrito para estacionar la antena GPS.

La segunda red, denominada Red de Puntos de Apoyo, está formada por cuatro 4 puntos exteriores a las estructuras objeto de prueba de carga, para poder observar y calcular desde ellos los vectores a los Puntos de Control en las diferentes fases de puesta en carga de las estructuras. Estos puntos se eligieron de forma que se garantizara su estabilidad temporal y se han seguido los mismos criterios que para la anterior red en materia de obstáculos. La tercera red, denominada Red de Referencia, está formada por las estaciones de referencia GPS de Villafranca (ESA), EU Ingeniería Técnica Topográfica e Instituto Geográfico Nacional, y su objetivo principal es la de transferir a las redes anteriores el sistema de referencia global ETRS-89, externo, global e independiente del de obra.

La observación comenzó con el estacionamiento de los receptores de la Red de Apoyo y Puntos de Control de centros de vano con aparatos de doble frecuencia, en el resto de los puntos se colocaron aparatos monofrecuencia. La programación del intervalo de muestreo de datos se realizó a 1 segundo. La Dirección de obra, a la vez, observó con flexímetros en los puntos de control de centro de vanos. Una vez replanteado el tren de carga en cada estructura, se observó la primera posición de puntos de control números de cada estructura con la misma en vacío de tren de carga. Posteriormente, de manera ordenada y con la lentitud necesaria para no provocar efectos dinámicos no deseados, se introdujeron los vehículos estacionándolos sobre las posiciones replanteadas previamente, cuatro camiones por cada carril sobre los carriles de las estructuras, evitando la acera tal como definen las Recomendaciones, y comenzando por el carril exterior para acabar con el interior. Una vez cargadas completamente las estructuras se mantuvo en carga durante 15 minutos para, a continuación, proceder a descargar la estructura de manera inversa a como se puso en carga. Se anotó en cada prueba un cronograma de entrada y salida de cada fila de camiones, para posteriormente calcular los vectores GPS con cada fila de camiones en carga o en descarga.



Recogidos todos los datos por los receptores y descargados en un ordenador se procedió al cálculo de los resultados en cuatro fases que comenzaron con el cálculo de vectores de los puntos de apoyo con la red de referencia. A partir de la red de apoyo se han calculado los vectores a los puntos de control en sus distintas posiciones adoptadas, coincidiendo con la entrada de los camiones por carriles, esto es, para las estructuras 1 y 3 un total de 9 posiciones y para la estructura 2 un total de 11 posiciones, formándose a continuación un subred con los vectores de cada posición. El cálculo de los vectores se realizó con el programa GPSurvey, aportado por el fabricante de los receptores.



Una vez completado el cálculo de vectores se procedió al ajuste en red de cada subconjunto de vectores, formados por la red de apoyo y las distintas posiciones de los puntos de control de cada una de las tres estructuras, resultando un total de 30 subredes, con una total de 786 observaciones, 306 parámetros en un sistema de 480 grados de libertad, obteniéndose una varianza a posteriori de cada subred con el fin de proceder a una ponderación particularizada para cada subred, como paso previo al ajuste final tridimensional conjunto. En esta labor se ha utilizado en programa de compensación general de redes GeoLab. En

la tabla I adjunta se pueden comprobar las coordenadas planas UTM calculadas para cada posición de carga del punto de control número 2 de centro de vano, incorporando también sus desviaciones estándar que dan idea de la precisión con la que han sido determinadas.

Finalmente, y a partir de las coordenadas cartesianas UTM calculadas para cada posición de carga de cada punto de control se han obtenido, por diferencia de coordenadas, los desplazamientos de cada una de las posiciones con respecto a la primera, considerada como posición en la que la estructura estaba en reposo sin haber sido sometida a carga alguna. En la tabla II se aportan las variaciones de los puntos de control 1, 2, 3 y 5.

En la figura 4 se aporta una gráfica con la variación de los desplazamientos con las distintas posiciones de carga y descarga realizadas para los puntos de control números 1, 2 y 3.

Control con GPS del Nuevo Puente de Ventas Estructura 3

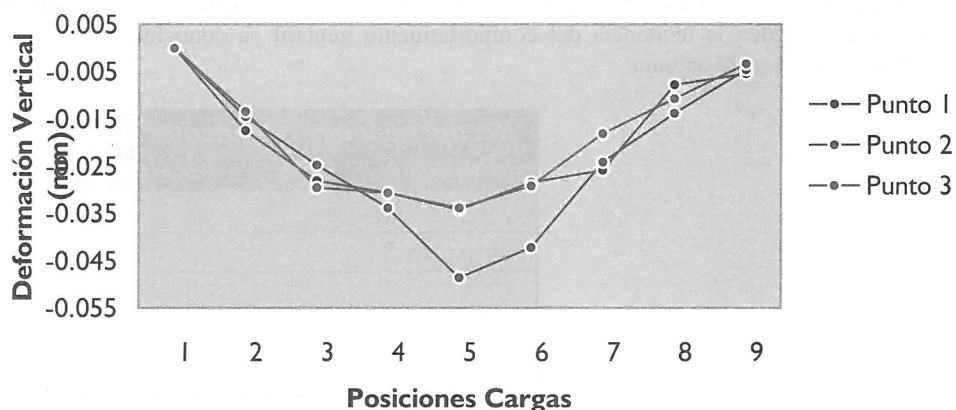


Figura 4.- Variación de los desplazamientos en la estructura 3

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Como se puede deducir de las tablas de cálculo de coordenadas de los puntos, éstos han quedado determinados con una desviación estándar media que podemos cifrar en 3 mm en planimetría y 5 mm en altimetría, salvo alguna excepción en alguna de las posiciones en las que el tiempo de observación quizá a sido corto. Démonos cuenta que hay vectores calculados con 30 segundos de datos. Ésta sería la precisión media de la determinación con GPS de las posiciones de los puntos de control en sus distintos momentos de carga. Como ya se ha comentado, en alguno de los puntos controlados con GPS se instaló un flexímetro que observó los desplazamientos en altitud de manera paralela, éstos fueron los puntos 2 y 5 de las estructuras 3 y 1 respectivamente. Los resultados de ambas técnicas se han resumido en la siguiente tabla para la posición de carga completa:

Desplazamientos verticales máximos en carga (mm)			
Puntos	Proyectados	GPS	Flexímetro
Estructura 3			
1	-36	-34	
2	-54	-49	-51
3	-32	-34	
Estructura 1			
4	-39		
5	-54	-40	-42
6	-38		
Estructura 2			
7	-35	-34	
8	-34	-34	
9	-40	-41	
10	-33	-32	

Se comprueba que los resultados son bastante conformes para las dos técnicas utilizadas, flexímetros y GPS, según los desplazamientos teóricos proyectados. Si bien la técnica de utilización de flexímetros es mucho más precisa, los resultados obtenidos con GPS están dentro del orden esperado en función de sus precisiones. De igual manera, se observa que la estructura se ha comportado según se había previsto en el modelo de desplazamientos.

Como se aprecia en la figura 4, podemos ver también como las variaciones en los desplazamientos están correladas para la totalidad de los puntos que intervienen en cada estructura. En cuanto a los desplazamientos que quedaron remanentes una vez retirado el tren de cargas de las estructuras, también se puede observar que el sistema GPS sigue la tendencia marcada por los flexímetros instalados, si bien su resolución de 5 mm en altitud se confunde con el propio valor determinado y éste, por tanto, podrían no ser significativos los resultados de tal remanencia, si bien es patente que siguen la tendencia del comportamiento general ya conocido del material. Los resultados han quedado resumidos en la tabla adjunta:

<i>Recuperaciones remanentes (mm)</i>		
<i>Puntos</i>	<i>GPS</i>	<i>Flexímetro</i>
<i>Estructura 3</i>		
1	-5	
2	-5	-4
3	-3	
<i>Estructura 1</i>		
4		
5	-7	-3
6		
<i>Estructura 2</i>		
7	-1	
8	-6	
9	-6	
10	-5	

Como consecuencia de los datos obtenidos en la observación con GPS de ambas pruebas de carga, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La metodología GPS empleada ha sido capaz de medir de forma continua los desplazamientos que se han ido produciendo a medida que se variaba el tren de cargas, con la suficiente redundancia de datos como para estimar que se han obtenido unas desviaciones estándar medias de 3 mm en planimetría y 5 en altimetría.
- Los desplazamientos obtenidos con GPS en los puntos de control de las estructuras han sido conformes con los desplazamientos observados con flexímetros, dentro del margen de tolerancia que marca la resolución de la metodología GPS empleada.
- Se han obtenido también desplazamientos laterales y longitudinales, aunque éstos son tan pequeños que están enmascarados por la resolución del sistema. A la vez, y de manera simultánea se han obtenido las posiciones de los puntos de control respecto a un sistema de referencia global, independiente del sistema de obra, que permitirá en un futuro volver a comprobar posibles desplazamientos o deformaciones en las estructuras.
- Debido a que el rango de desplazamientos observados están en el límite que soporta la resolución de la metodología GPS empleada, su utilización puede ser de uso idóneo en estructuras con luces mayores, cuyos desplazamientos esperables estén en consonancia con la resolución del método, donde la dificultad de utilización de otras técnicas sea manifiesta debido a las grandes distancias en nivelación o en tendido de grandes longitudes de hilos para flexímetros.
- No ha necesitado de intervisibilidad entre los puntos de apoyo y los puntos de control, llegando estas distancias a ser del orden de los 120 metros.

Se abre además una puerta a la posibilidad de instrumentar de manera automática, continua y remota este tipo de estructuras, mediante la implantación de receptores GPS de bajo coste unidos a un sistema de transmisión de los datos vía radio en las proximidades de la estructura o vía RTC, RDSI, GSM o incluso por satélite a un centro de control que puede estar distante varias centenas de kilómetros de la propia estructura. Este centro puede procesar y analizar

automáticamente los datos que recibe e incorporarlos a un programa de evaluación y seguimiento evolución de la estructura, haciendo saltar las alarmas oportunas en caso de que los desplazamientos, que pueden ser tridimensionales, superen un umbral marcado como de seguridad.

<i>Punto de Control y posición</i>	<i>x UTM Desv.Estándar</i>	<i>y UTM Desv.Estándar</i>	<i>Altitud Desv.Estándar</i>
02_01	443958.110 0.001	4475805.850 0.001	657.277 0.003
02_02	443958.110 0.001	4475805.852 0.002	657.262 0.004
02_03	443958.110 0.001	4475805.852 0.002	657.252 0.004
02_04	443958.108 0.001	4475805.854 0.002	657.243 0.004
02_05	443958.110 0.001	4475805.852 0.001	657.228 0.003
02_06	443958.109 0.001	4475805.852 0.002	657.235 0.004
02_07	443958.109 0.001	4475805.850 0.002	657.252 0.005
02_08	443958.109 0.001	4475805.853 0.001	657.263 0.003
02_09	443958.110 0.001	4475805.851 0.002	657.272 0.005

Tabla I Coordenadas de las posiciones del punto de control número 2

<i>Punto 1</i>	<i>Despl. X</i>	<i>Despl. Y</i>	<i>Despl. H</i>
1	0.000	0.000	0.000
2	-0.004	0.002	-0.017
3	-0.004	0.000	-0.028
4	-0.006	0.007	-0.031
5	-0.006	0.002	-0.034
6	-0.005	0.004	-0.028
7	-0.003	0.000	-0.026
8	-0.003	0.001	-0.008
9	-0.003	-0.002	-0.005

<i>Punto 3</i>	<i>Despl. X</i>	<i>Despl. Y</i>	<i>Despl. H</i>
1	0.000	0.000	0.000
2	0.001	0.002	-0.013
3	0.001	0.000	-0.029
4	0.002	0.003	-0.030
5	0.000	0.003	-0.034
6	0.003	0.001	-0.029
7	0.001	-0.001	-0.018
8	0.001	0.001	-0.011
9	-0.001	0.001	-0.003

<i>Punto 2</i>	<i>Despl. X</i>	<i>Despl. Y</i>	<i>Despl. H</i>
1	0.000	0.000	0.000
2	-0.001	0.002	-0.014
3	-0.001	0.002	-0.025
4	-0.002	0.004	-0.034
5	-0.001	0.003	-0.049
6	-0.002	0.002	-0.042
7	-0.001	0.001	-0.024
8	-0.001	0.003	-0.014
9	-0.001	0.001	-0.005

<i>Punto 5</i>	<i>Despl. X</i>	<i>Despl. Y</i>	<i>Despl. H</i>
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.003	-0.016
3	-0.007	-0.007	-0.024
4	0.002	0.004	-0.033
5	-0.003	-0.002	-0.040
6	-0.003	-0.002	-0.027
7	-0.005	-0.005	-0.018
8	-0.005	-0.002	-0.015
9	-0.003	0.000	-0.007

Tabla II Desplazamientos de los puntos de control 1, 2, 3 y 5